

## Transformer for the transfer of high electrical power at high frequency

Patent number: EP0601225

Publication date: 1994-06-15

Inventor: FISCHER GERHARD DIPL-ING FH [DE]; HEMMER  
BERNHARD DIPL-ING [DE]; KISEL DUSAN [CS]

Applicant: SIEMENS AG [DE]

Classification:

- international: H01F31/00

- european: H01F30/16

Application number: EP19920120854 19921207

Priority number(s): EP19920120854 19921207

### Cited documents

DE211557
DE922839
DE392822
FR133031

### Abstract of EP0601225

Transformers are known which have a coaxial winding construction for transmitting high electrical powers at high frequency and with low power loss. In order to make it possible better to eliminate the dissipation of heat produced at very high powers and very high frequencies, the windings (1, 2) are constructed in the form of mutually coaxial cylindrical parts (7, 13) of different sizes, the corresponding smaller cylindrical part (7) of which is arranged inside the larger cylindrical part (13) and accommodates the transformer core (3). The cylindrical parts (7, 13) are filled with a coolant (20) which covers the transformer core (3).

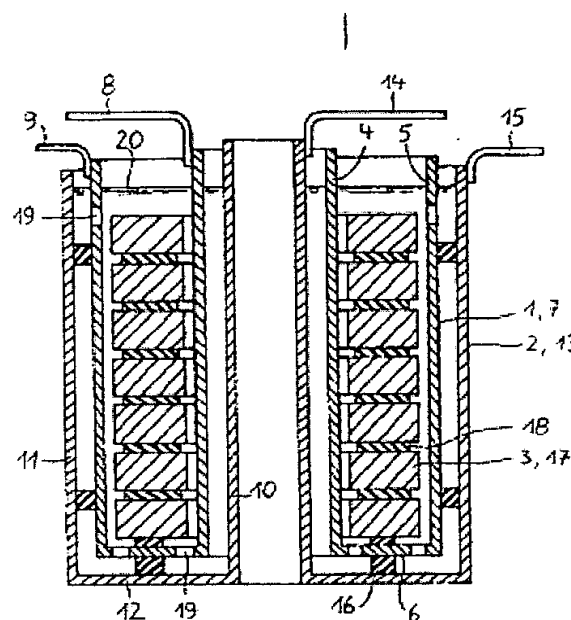


FIG. 1

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 601 225 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 92120854.2

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: **H01F 31/00**

(22) Anmeldetag: 07.12.92

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
15.06.94 Patentblatt 94/24

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**Wittelsbacherplatz 2**  
**D-80333 München(DE)**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC**  
**NL PT SE**

(72) Erfinder: **Fischer, Gerhard, Dipl.-Ing. (FH)**  
**Hans-Geiger-Strasse 37**  
**W-8520 Erlangen(DE)**  
Erfinder: **Hemmer, Bernhard, Dipl.-Ing.**  
**Burglesau 3**  
**W-8604 Schesslitz(DE)**  
Erfinder: **Kisel, Dusan**  
**Bernolakova 27**  
**CS-04120 Kosice(CS)**

(54) **Transformator zum Übertragen hoher elektrischer Leistungen bei hoher Frequenz.**

(57) Es sind Transformatoren bekannt, die zum Übertragen hoher elektrischer Leistungen bei hoher Frequenz und geringen Verlustleistungen einen coaxialen Wundungsaufbau aufweisen.

Um die bei sehr hohen Leistungen und sehr hohen Frequenzen entstehende Verlustwärme besser abführen zu können, sind die Windungen (1, 2) in Form von zueinander coaxialen Becherteilen (7, 13) unterschiedlicher Größe ausgebildet, von denen das jeweils kleinere Becherteil (7) im Inneren des größeren Becherteils (13) angeordnet ist und den Transformator Kern (3) aufnimmt. Die Becherteile (7, 13) sind mit einem den Transformator Kern (3) bedeckenden Kühlmedium (20) gefüllt.

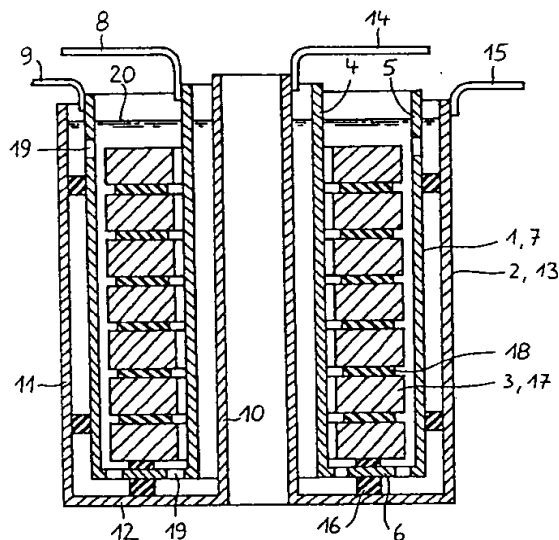


FIG. 1

EP 0 601 225 A1

Die Erfindung betrifft einen Transformator zum Übertragen hoher elektrischer Leistungen bei hoher Frequenz mit einer ersten Windung bestehend aus zwei zueinander parallelen und einseitig miteinander verbundenen Abschnitten eines rohrförmigen ersten Leiters, mit einer zweiten Windung bestehend aus einem im Inneren des rohrförmigen ersten Leiters, zu diesem coaxial verlaufenden zweiten Leiter und mit einem ringförmigen Transformator Kern, der coaxial zu den beiden Leitern angeordnet ist.

Ein derartiger aus "IEEE Transactions on Power Electronics", Vol. 7, Nr. 1, 1992, Seiten 54 - 62, bekannter Transformator dient zur Übertragung von Leistungen in der Größenordnung von 50 Kilowatt bei einer Frequenz von 50 Kilohertz beispielsweise in Gleichspannungswandlern. Allgemein besteht bei solchen Transformatoren die Forderung nach geringen Verlusten bei der Energieübertragung. Dabei ist zwischen den sogenannten Kupferverlusten in den Wicklungen und den Eisenverlusten in dem Transformator Kern zu unterscheiden. Bei hohen Betriebsfrequenzen tragen vor allem magnetische Streufelder zum Entstehen der Eisen- und Kupferverluste bei. Um diese so gering wie möglich zu halten, ist bei dem bekannten Transformator ein coaxialer Wicklungsaufbau und die Verwendung von Ferriten oder Permalloy als Material für den Transformator Kern vorgesehen. So sind bei dem bekannten Transformator zwei parallele Rohrabchnitte aus Kupfer einseitig über ein halbkreisförmig gebogenes Rohrstück oder ein stabförmiges Verbindungsstück derart miteinander verbunden, daß sie eine U-förmige primäre Windung des Transformators bilden. Die Sekundärwicklung des Transformators besteht aus einer Drahtlitze, die in einer oder mehreren geschlossenen Windungen angeordnet ist, wobei einander gegenüberliegende Windungsabschnitte im Inneren der beiden Rohrabchnitte verlaufen. Auf die Rohrabchnitte sind ferner mehrere Ringkerne aus Ferrit oder amorphem Metall aufgeschoben.

Wenn auch bei dem bekannten coaxial aufgebauten Transformator die Verluste im Vergleich zu herkömmlichen Transformatoren erheblich verringert sind, so sind doch die verbleibenden Verluste, insbesondere bei noch höheren Frequenzen, wie z. B. im Kilohertzbereich, so groß, daß eine Kühlung des Transformator Kerns erforderlich ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei einem Transformator mit coaxialem Wicklungsaufbau eine effektive Kühlung des Transformator Kerns zu ermöglichen und dabei einen konstruktiv noch einfacheren und bezüglich der Verluste noch günstigeren Aufbau zu erreichen.

Gemäß der Erfindung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß bei dem Transformator der eingangs angegebenen Art die parallelen Rohrab-

schnitte des ersten Leiters unterschiedliche Durchmesser aufweisen, coaxial zueinander angeordnet sind und über ein scheibenförmiges Bodenteil unter Bildung eines ersten Becherteils miteinander verbunden sind, daß der zweite Leiter aus einem Innenleiter und einem diesen coaxial umgebenden Außenrohr besteht, die über ein scheibenförmiges weiteres Bodenteil unter Bildung eines zweiten Becherteils miteinander verbunden sind, daß der Innendurchmesser des inneren Rohrabchnitts des ersten Leiters größer als der Außendurchmesser des Innenleiters des zweiten Leiters ist, daß der Außendurchmesser des äußeren Rohrabchnitts des ersten Leiters kleiner als der Innendurchmesser des Außenrohres des zweiten Leiters ist, daß das erste Becherteil in dem Inneren des zweiten Becherteils angeordnet ist und daß der Transformator Kern im Inneren des ersten Becherteils angeordnet ist.

Dadurch, daß die beiden Windungen des Transformators becherförmig ausgebildet sind, besteht die Möglichkeit, diese mit einem Kühlmedium für den Transformator Kern zu füllen. Aufgrund des bei kreisrundem Querschnitt der Becherteile völlig rotationssymmetrischen Aufbaues des erfindungsgemäßen Transformators ergibt sich eine homogene Verteilung des magnetischen Feldes, wodurch insbesondere eine ungleichmäßige Erwärmung des Transformators aufgrund einer ungleichmäßigen Verteilung der auftretenden Verluste vermieden wird. Im übrigen können die Becherteile aber auch andere, z. B. ellipsenförmige oder rechteckförmige Querschnitte aufweisen. Der konstruktive Aufbau des erfindungsgemäßen Transformators ist darüber hinaus besonders einfach, was sich insbesondere darin zeigt, daß sich die als Becherteile ausgebildeten Windungen und der Transformator Kern durch einfaches, aufeinanderfolgendes Ineinanderfügen von einer einzigen Montageseite, nämlich der jeweils offenen Becherseite her zu dem Transformator zusammensetzen lassen.

Unter Ausnutzung des vorteilhaften Aufbaues des erfindungsgemäßen Transformators ist zur Kühlung des Transformator Kerns das erste, innere Becherteil mit einem Kühlmedium, vorzugsweise einer Flüssigkeit wie z. B. Öl, gefüllt.

Dabei kann das zweite, äußere Becherteil in vorteilhafter Weise über einen Einlaß und einen Auslaß an einen sekundären Kühlmittelkreislauf angeschlossen sein, mittels dessen die von dem Kühlmedium in dem ersten Becherteil aufgenommene Verlustwärme abführbar ist.

Alternativ hierzu sind beide Becherteile mit dem Kühlmedium gefüllt, wobei das erste, innere Becherteil Durchlaßöffnungen enthält, so daß eine Konvektionsströmung des Kühlmediums durch beide Becherteile hindurch möglich ist. Dabei wird die Verlustwärme über die Außenwandung des zwei-

ten, äußeren Becherteils abgeführt.

Um bei großen Wärmemengen die Verlustwärme besser abführen zu können, sind an dem Außenrohr des zweiten Becherteils vorzugsweise Mittel zur Wärmeabführung angebracht. Dabei kann es sich um passiv wirkende Mittel wie Kühlrippen oder um aktiv wirkende Mittel wie z. B. Kühlmittel-durchströmte Kühlschlangen handeln.

Die Abführung der Verlustwärme läßt sich weiterhin dadurch unterstützen, daß der Innenleiter des zweiten, äußeren Becherteils rohrförmig ausgebildet ist. Dadurch wird die zur Wärmeabführung heranziehbare äußere Oberfläche des zweiten Behälterteils noch weiter vergrößert; da der Stromfluß aufgrund der hohen Betriebsfrequenzen auf den äußeren Umfang des runden Innenleiters verdrängt ist, wird durch diese Maßnahme der ohmsche Widerstand des Innenleiters nicht vergrößert.

Ebenso wie bei dem bekannten Transformator ist der Transformator Kern vorzugsweise aus Ringkernen ausgebildet, die bei dem erfindungsgemäßen Transformator übereinanderliegen und beispielsweise durch scheibenförmige Zwischenlagen voneinander isoliert sind. Hierbei zeigt sich ein weiterer Vorteil in dem Aufbau des erfindungsgemäßen Transformators, weil die Ringkerne mit den Zwischenlagen einfach aufeinander gestapelt werden können und dabei einen kompakten, in sich geschlossenen Aufbau des Transformator Kerns bilden. Die Ringkerne können in Anpassung an die jeweilige Querschnittsform der Becherteile kreisrund oder z. B. auch rechteckförmig und einstückig oder auch mehrstückig, beispielsweise aus U-förmigen Teilen zusammengesetzt sein.

Im Hinblick auf die hohen Betriebsfrequenzen besteht der Transformator Kern vorzugsweise aus Ferrit oder amorphem Metall.

Für den Fall, daß ein von 1 : 1 abweichendes Übersetzungsverhältnis des Transformators gewünscht wird, ist zumindest eine weitere Windung vorgesehen, die in Form eines zu dem ersten und zweiten Becherteil coaxialen zusätzlichen Becherteils ausgebildet ist. Auch dabei bleiben der vollkommen rotationssymmetrische Aufbau des erfindungsgemäßen Transformators und die damit verbundenen Vorteile erhalten.

Der erfindungsgemäße Transformator läßt sich aufgrund seines Aufbaues in vorteilhafter Weise mit weiteren gleichartigen Transformatoren zu einer Transformatorbatterie ähnlich bekannten Kondensatorbatterien anordnen, wobei die Transformatoren auf ihren offenen Seiten durch Stromschienen miteinander verbunden sind.

Auf entsprechende Weise kann der erfindungsgemäße Transformator zusammen mit weiteren gleichartigen Transformatoren auch zu einem Mehrphasentransformator zusammengesetzt werden.

Zur Erläuterung der Erfindung wird im folgenden auf die Figuren der Zeichnung Bezug genommen. Im einzelnen zeigen

FIG 1 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen coaxialen Transformators in einer Schnittdarstellung,

FIG 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Transformators mit einer zusätzlichen Windung,

FIG 3 ein Beispiel des erfindungsgemäßen Transformators mit einem sekundären Kühlmittelkreislauf und

FIG 4 eine Transformatorbatterie mit drei in Serie geschalteten Transformatoren.

Der in FIG 1 gezeigte Transformator besteht im wesentlichen aus einer ersten, primären Windung 1, einer zweiten, sekundären Windung 2 und einem Transformator Kern 3.

Die erste, primäre Windung 1 besteht aus zwei zueinander coaxial angeordneten Rohrabschnitten 4 und 5 unterschiedlichen Durchmessers, die einseitig unten über ein ringscheibenförmiges Bodenteil 6 miteinander verbunden sind und dabei ein erstes Becherteil 7 bilden. Auf der nach oben offenen Seite des Becherteils 7 sind an den beiden Rohrabschnitten 4 und 5 primäre Anschlußleitungen 8 bzw. 9 angebracht.

Die zweite, sekundäre Windung 2 besteht ebenfalls aus einem rohrförmigen Innenleiter 10 mit geringerem Außendurchmesser als der Innendurchmesser des inneren Rohrabschnitts 4 der ersten Windung 1 und einem dazu coaxialen Außenrohr 11 mit größerem Innendurchmesser als der Außendurchmesser des äußeren Rohrabschnitts 5, wobei der Innenleiter 10 und das Außenrohr 11 einseitig unten über ein scheibenförmiges weiteres Bodenteil 12 unter Bildung eines zweiten Becherteils 13 miteinander verbunden sind. Auf der nach oben offenen Seite des zweiten Becherteils 13 sind an dem Innenleiter 10 und dem Außenrohr 11 sekundäre Anschlußleitungen 14 und 15 angeschlossen.

Das die primäre Windung 1 bildende erste Becherteil 7 ist in das die sekundäre Windung 2 bildende zweite Becherteil 13 hineingestellt, wobei Abstandshalter 16 aus Isoliermaterial die beiden Becherteile 7 und 13 voneinander beabstandet und in coaxialer Ausrichtung zueinander halten.

Der Transformator Kern 3 besteht aus mehreren Ringkernen 17 aus Ferrit, die im Inneren des ersten Becherteils 7 zu diesem coaxial aufeinander gestapelt sind und dabei voneinander durch dünne scheibenförmige Zwischenlagen 18 isoliert sind. Die Innenräume der beiden Becherteile 7 und 13 stehen über Durchlaßöffnungen 19 im Bereich des Bodenteils 6 und des äußeren Rohrabschnitts 5 des ersten Becherteils 7 miteinander in Verbindung und sind mit einem Kühlmittel 20, hier Öl,

gefüllt, das den Transformatorkern 3 bedeckt.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Transformators bestehen die Windungen 1 und 2 aus Kupfer. Der Transformator ist für eine Leistungsübertragung von etwa 50 Kilowatt bei einer Betriebsfrequenz von 400 bis 500 Kilohertz ausgelegt und dient aufgrund seines Übersetzungsverhältnisses von 1 : 1 vor allem zur Potentialtrennung beispielsweise in Einrichtungen zur Induktionserwärmung. Aufgrund des völlig rotationssymmetrischen Aufbaues ergeben sich nur geringe Verluste bei der Leistungsübertragung, wobei diese Verluste außerdem gleichmäßig über den Transformator verteilt sind, so daß keine lokalen Wärmeinseln entstehen. Durch die Ausbildung der Windungen 1 und 2 als Becherteile 7 bzw. 13 und deren Auffüllung mit dem Kühlmedium 20 ist für eine effektive Abführung der in dem Transformatorkern 3 entstehenden Verlustwärme über die Außenwandung des zweiten, äußeren Becherteils 13 an die Umgebung gesorgt. Schließlich lassen sich die einzelnen Teile des Transformators auf einfachste Weise von einer einzigen Seite her montieren.

Das in FIG 2 schematisch dargestellte Ausführungsbeispiel für den erfindungsgemäßen Transformator unterscheidet sich von dem in FIG 1 gezeigten Beispiel durch eine weitere primäre Windung 21, die ebenfalls als Becherteil 22 ausgebildet ist und zwischen den Becherteilen 7 und 13 angeordnet ist. Dabei sind die Windungen 1 und 21 in der Weise in Reihe geschaltet, daß die mit 9 bezeichnete primäre Anschlußleitung nicht an dem äußeren Rohrabschnitt 5 des Becherteils 7, sondern an dem äußeren Rohrabschnitt 23 des Becherteils 22 angeschlossen ist und daß der innere Rohrabschnitt 24 des Becherteils 22 über eine Verbindungsleitung 25 mit dem äußeren Rohrabschnitt 5 des Becherteils 7 verbunden ist. Bei diesem Transformator ergibt sich somit ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 2, wobei aufgrund des nach wie vor völlig rotationssymmetrischen Aufbaues die gleichen Vorteile bestehen, wie bei dem in FIG 1 gezeigten Ausführungsbeispiel.

Wie bereits im Zusammenhang mit FIG 1 erwähnt, wird die in dem Transformatorkern entstehende Verlustwärme durch das Kühlmedium 20 und die Wandung des äußeren zweiten Becherteils 13 an die Umgebung abgeführt. Dabei kann, wie FIG 3 zeigt, die Ableitung der Verlustwärme noch dadurch verbessert werden, daß an dem äußeren Becherteil 13 eine Kühlschlange 26 eines im übrigen nicht näher dargestellten Kühlmittelkreislaufes anliegt.

FIG 4 zeigt ein Beispiel für die Verschaltung von drei Transformatoren 27, 28 und 29 der erfindungsgemäßen Art zu einer Transformatorbatterie ähnlich einer Kondensatorbatterie, wobei die jeweiligen Primärwindungen 30, 31 und 32 in Reihe

geschaltet sind und in gleicher Weise auch die Sekundärwindungen 33, 34 und 35 in Reihe geschaltet sind. Je nach Erfordernis ist natürlich auch eine Parallelschaltung von Windungen möglich.

## Patentansprüche

1. Transformator zum Übertragen hoher elektrischer Leistungen bei hoher Frequenz mit einer ersten Windung (1), bestehend aus zwei zueinander parallelen und einseitig miteinander verbundenen Abschnitten (4, 5) eines rohrförmigen ersten Leiters, mit einer zweiten Windung (2), bestehend aus einem im Inneren des rohrförmigen ersten Leiters zu diesem coaxial verlaufenden zweiten Leiter und mit einem ringförmigen Transformatorkern (3), der coaxial zu den beiden Leitern angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die parallelen Rohrabschnitte (4, 5) des ersten Leiters unterschiedliche Durchmesser aufweisen, coaxial zueinander angeordnet sind und über ein scheibenförmiges Bodenteil (6) unter Bildung eines ersten Becherteils (7) miteinander verbunden sind, daß der zweite Leiter aus einem Innenleiter (10) und einem diesen coaxial umgebenden Außenrohr (11) besteht, die über ein scheibenförmiges weiteres Bodenteil (12) unter Bildung eines zweiten Becherteils (13) miteinander verbunden sind, daß der Innendurchmesser des inneren Rohrabschnitts (4) des ersten Leiters größer als der Außendurchmesser des Innenleiters (10) des zweiten Leiters ist, daß der Außendurchmesser des äußeren Rohrabschnitts (5) des ersten Leiters kleiner als der Innendurchmesser des Außenrohrs (11) des zweiten Leiters ist, daß das erste Becherteil (7) in dem Inneren des zweiten Becherteils (13) angeordnet ist und daß der Transformatorkern (3) im Inneren des ersten Becherteils (7) angeordnet ist.
2. Transformator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erste Becherteil (7) mit einem Kühlmedium (20) gefüllt ist.
3. Transformator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das zweite Becherteil (13) über einen Einlaß und einen Auslaß an einen sekundären Kühlmittelkreislauf angeschlossen ist.
4. Transformator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß beide Becherteile (7, 13) mit dem Kühlmedium (20) gefüllt sind und daß das erste Becherteil (7) Durchlaßöffnungen (19) enthält.

5. Transformator nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß am Außenrohr (11) des zweiten Becherteils (13) Mittel (26) zur Wärmeabführung angebracht sind. 5
6. Transformator nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Innenleiter (10) des zweiten, äußeren Becherteils (13) rohrförmig ausgebildet ist. 10
7. Transformator nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Transformator Kern (3) in Form von übereinanderliegenden Ringkernen (17) ausgebildet ist, die voneinander isoliert sind. 15
8. Transformator nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Transformator Kern (3) aus Ferrit besteht. 20
9. Transformator nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Transformator Kern aus amorphem Metall besteht. 25 30
10. Transformator nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß zumindest eine weitere Windung (21) des Transformators vorgesehen ist, die in Form eines zu dem ersten und zweiten Becherteil (7, 13) coaxialen zusätzlichen Becherteils (22) ausgebildet ist. 35 40
11. Transformator nach einem vorangehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Transformator (27) und weitere gleichartige Transformatoren (28, 29) zu einer Transformatorbatterie angeordnet sind, wobei die Transformatoren (27 bis 29) auf ihren offenen Seiten durch Stromschienen miteinander verbunden sind. 45 50

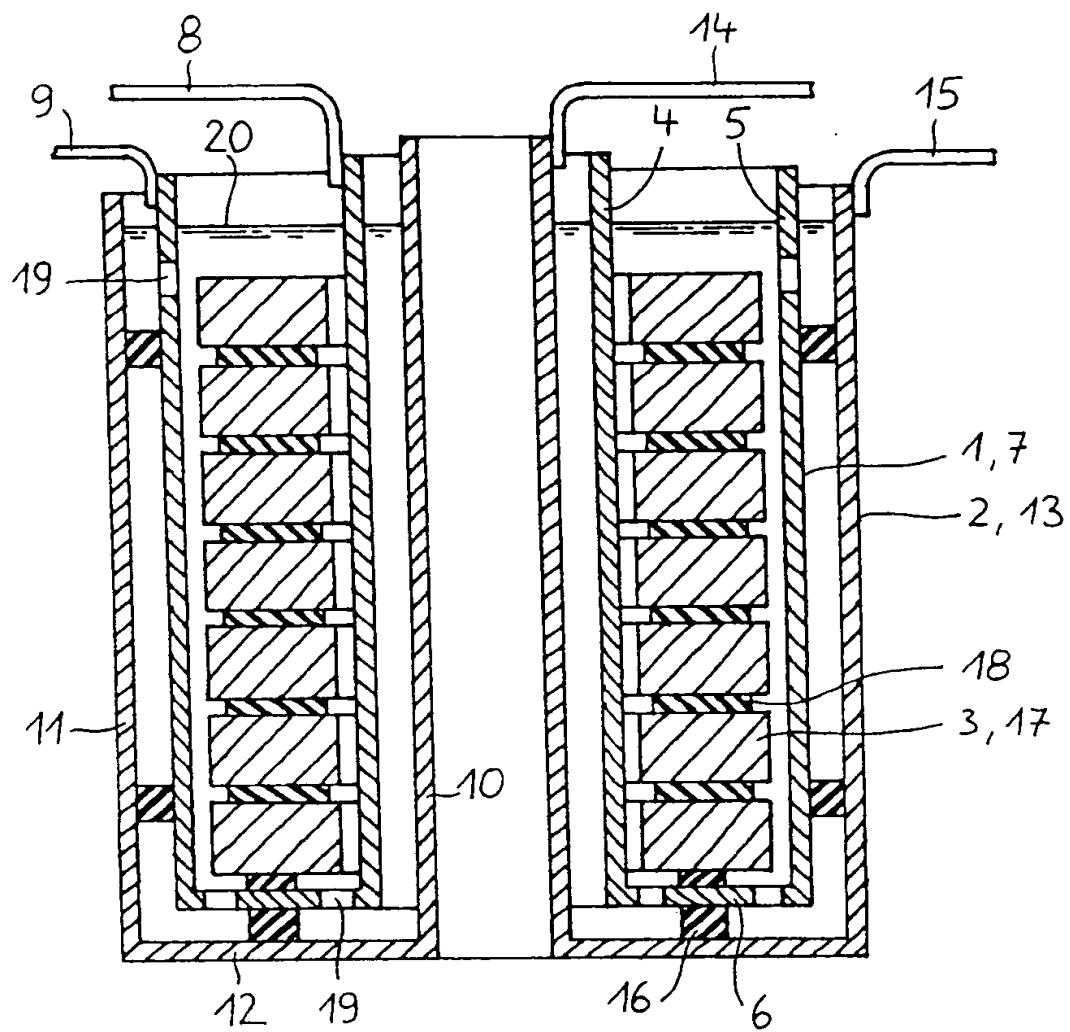


FIG. 1

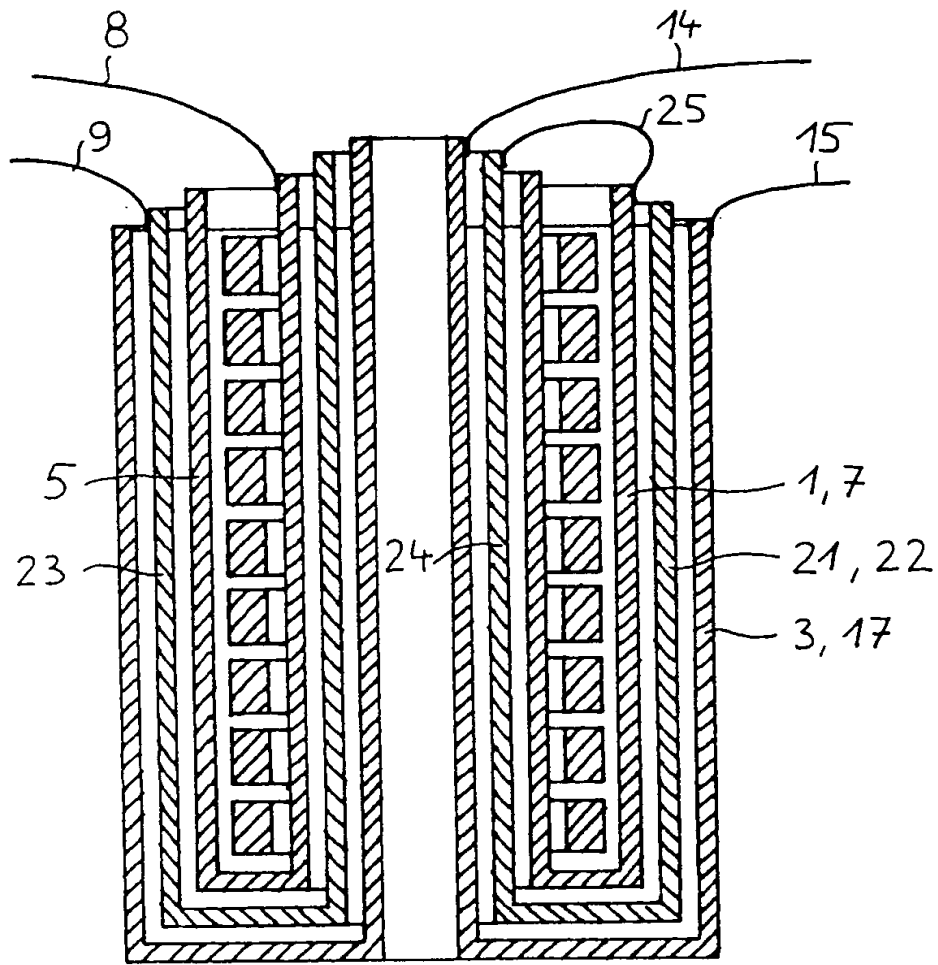


FIG. 2



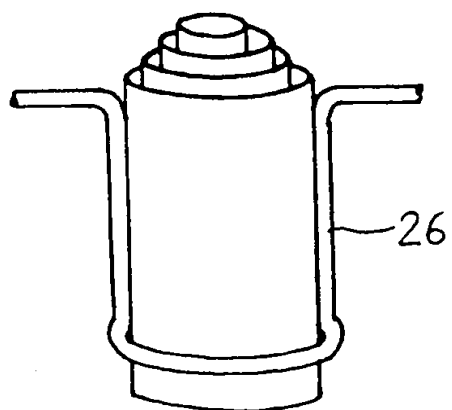


FIG. 3

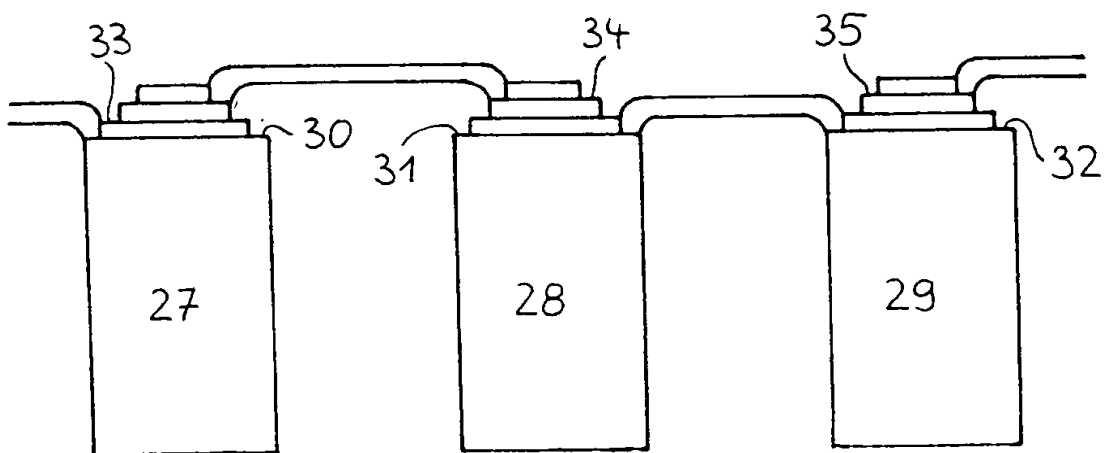


FIG. 4



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 12 0854

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
Y	DE-A-2 115 574 (AEG-ELOTHERM) * Seite 3, Zeile 1 - Seite 5, letzter Absatz *	1	H01F31/00
A	---	2,5,6,8,11	
Y	DE-C-922 839 (BROWN BOVERI) * Abbildungen 1,7 *	1	
A	---	10,11	
A	DE-A-3 928 223 (HITACHI METALS) * Abbildungen 10,11 *	3,4,7,9	
A	FR-A-1 330 315 (LE MATERIEL ELECTRIQUE) -----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 05 AUGUST 1993	Prüfer VANHULLE R.
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			